

Софтвер за анализу перформанси MANET у урбаном окружењу, заснован на мрежном симулатору NS2

Руководилац пројекта: Владанка Аћимовић-Распоповић, Мирјана Стојановић

Одговорно лице: Валентина Тимченко

Аутори: Валентина Тимченко, Вук Дуловић, Мирјана Стојановић

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32025

Година: 2011.

Примена: 01.10. 2011.

Кратак опис

Развијен је скуп програма (скриптова) на програмском језику OTcl (*Object-oriented Tool command language*) за симулацију мобилних ad hoc мрежа (MANET) помоћу мрежног симулатора NS2. Дефинисана је општа структура OTcl скрипта, која обухвата: креирање објекта симулатора, управљање помоћним фајловима, дефинисање карактеристика мобилних чворова, формирање топографије мреже, формирање матрице саобраћаја, дефинисање динамике мреже и управљање током симулације. Такође је дефинисана и извршена интеграција са *open source* програмима за генерисање мобилности чворова, BonnMotion и SUMO. Мобилност чворова у урбаном окружењу симулира се помоћу модела Manhattan Grid. На основу такве структуре врши се развој програма за жељени сценарио симулације. Избором одговарајућег OTcl скрипта и подешавањем потребних параметара симулације могуће је извршити низ анализа за различите MANET протоколе рутирања, мреже са различитим бројем чворова и различите брзине кретања чворова.

Техничке карактеристике:

Мрежни симулатор NS2, Linux платформа, објектно оријентисано пројектовање, програмски језик OTcl, генератори мобилности BonnMotion и SUMO.

Техничке могућности:

Софтвер отвореног типа, погодан за примену у научно-истраживачке и едукативне сврхе.

Реализатори:

ИМП Београд, СФ Београд

Корисници:

ИМП Београд, СФ Београд, ЕТФ Београд

Подтип решења:

Софтвер (M85)

Стање у свету

Мобилна ad hoc мрежа (*Mobile Ad hoc NETWORK*, MANET) представља флексибилни, самоконфигуришући скуп мобилних чворова који функционише без потребе за успостављањем фиксне инфраструктуре и централизоване администрације. Чворови мреже су одговорни за одржавање рута, детекцију нових чворова у мрежи, размену контролних пакета, као и одржавање континуитета комуникације. Недовољна распрострањеност MANET условила је да се истраживања у овој области углавном заснивају на примени симулације. Увођењем различитих модела мобилности тежи се реалнијем опонашању кретања мобилних уређаја у мрежи. Симулација MANET у урбаном окружењу подразумева примену неког од

модела мобилности из групе *City Section* (CS). Ова група модела подразумева симулацију дела града у коме постоји MANET. Тип града који се симулира дефинише начин на који ће се моделовати распоред улица, раскрснице, брзине, паузе и правила понашања мобилних чворова.

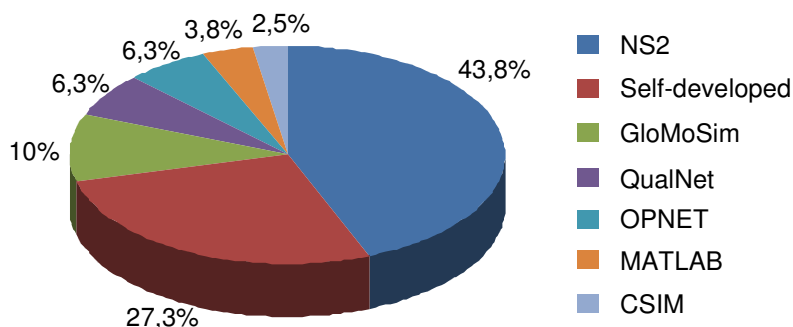
Последњих година је остварен значајан напредак у развоју алата за симулацију MANET мрежа, који се континуирано унапређују и обогаћују новим карактеристикама. Битни захтеви за симулаторе MANET мрежа односе се на скалабилност, ефикасно извршавање симулације и уштеду рачунарских ресурса. Већини алата придружени су помоћни графички алати за визуелизацију симулације и обраду и анализу резултата. Алати за моделовање и симулацију мрежног слоја обезбеђују корисницима окружење за развој и испитивање мрежних протокола, верификацију дистрибуиране функционалности и анализу перформанси. На тржишту доступни симулатори се разликују по цени, једноставности употребе, доступности изворног кода, командног интерфејса, обима доступне документације и других карактеристика. Табела 1 даје преглед најзаступљенијих симулатора.

Табела 1. Преглед најзаступљенијих симулатора

Алат за симулацију и моделовање мрежа	Доступност	URL
BRITE	<i>Open-source</i>	http://www.cs.bu.edu/brite/
Cnet	<i>Open-source</i>	www.csse.uwa.edu.au/cnet/
GloMoSim	<i>Open-source</i>	http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/
J-Sim	<i>Open-source</i>	http://sites.google.com/site/jsimofficial/
NS2	<i>Open-source</i>	http://www.isi.edu/nsnam/ns/
OMNeT++	<i>Open-source</i>	http://www.omnetpp.org/
OPNET	Комерцијалан	http://www.opnet.com/
PacketStorm-Network Emulator	Комерцијалан	http://www.packetstorm.com/4xg.php
Qualnet	Комерцијалан	http://www.scalable-networks.com/
SSFNet	<i>Open-source</i>	http://www.ssfnet.org/homePage.html
X-sim	<i>Open-source</i>	http://www.cs.arizona.edu/projects/xkernel/

Упоредне анализе перформанси постојећих симулатора нису објављене у великом броју, а постојеће публикације углавном обухватају ограничен скуп експеримената са једноставним сценаријима симулације. Осим тога, нису познате публикације које се баве анализом перформанси појединих симулатора на различитим платформама (Windows, Unix).

Студија која је обухватила више од 150 научно-истраживачких радова из области мобилних *ad hoc* мрежа (MANET) статистички је представила заступљеност одређених симулатора. Подаци су показали да је већина аутора користила симулатор NS2, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Примењени симулатори у области истраживања MANET мрежа.

Симулатор NS2 и придружени алати

NS2 (*Network Simulator v2*) припада класи симулатора вођених догађајима у дискретном времену. Развијен у оквиру DARPA VINT (*Virtual InterNetwork Testbed*) пројекта, реализованог у сарадњи неколико водећих америчких универзитета.

NS2 је мулти-протоколски симулатор који имплементира различите апликационе протоколе (Telnet, FTP, HTTP), транспортне протоколе (UDP, више верзија TCP, RTP, RTCP), *unicast* и *multicast* протоколе рутирања, MAC протоколе за симулацију локалних рачунарских мрежа, протоколе за мобилне IP мреже, протоколе за сателитску комуникацију. NS2 садржи богат скуп генератора саобраћаја и има могућност рада са узорцима реалног саобраћаја. Симулатор такође обухвата библиотеке за креирање разноврсних топологија мреже и пружа могућности за генерисање компликованијих сценарија симулације, како у погледу скалабилних мрежа, тако и у погледу хетерогених извора саобраћаја. У симулатору су имплементирани алгоритми за опслуживање пакета и управљање редовима, диференцирани сервиси (DiffServ) и мултипротоколска комутација лабела (MPLS).

NS2 је развијен методама објектно-оријентисаног пројектовања, на програмском језику C++, са корисничким интерпретером објектно-оријентисаних Tcl (OTcl) скриптова. Распожив је за неколико верзија оперативних система Unix (Sun OS, Free BSD, Linux) и Windows (NT/XP/Vista/Windows 7). Састоји се из пет основних делова: Tcl, Tk, OTcl, TclCl и NS2 core.

Tcl (*Tool command language*) је истовремено програмски језик и интерпретер релативно једноставне синтаксе, који се ефикасно интегрише са програмским језицима високог нивоа (типично C/C++/C# и Java). Уграђује се у корисничке апликације, а примењује се и за потребе развоја програма за конфигурисање мрежних уређаја (нпр. Cisco Tcl скриптови).

Tk (*Tool kit*) је придружени графички кориснички интерфејс за Tcl.

OTcl (*Object-oriented Tcl*) је објектно-оријентисана екстензија Tcl/Tk, односно кориснички интерпретер објектно-оријентисаних OTcl скриптова. OTcl модули за конфигурисање мреже омогућују ефикасно успостављање релација између креираних мрежних објеката.

TclCl представља интерфејс између скриптова развијених у OTcl и модула језгра NS2 симулатора развијених на језику C++. Овај интерфејс за сваки C++ објекат креира аналогни OTcl објекат и успоставља потребну контролу.

NS2 core представља језгро симулатора генерисано кроз низ C++ модула. Поред различитих протокола и других компоненти мреже, језгро обухвата и модуле за распоређивање догађаја у дискретном времену симулације (*event scheduler*).

Дуалност програмских језика је принцип који користе и други симулатори, а потиче од потребе да се повећа ефикасност процеса симулације. У симулатору NS2 се програмирање сценарија обавља помоћу OTcl, који је једноставан за разумевање, учење и примену. Ефикасна обрада генерисаних догађаја омогућена је захваљујући C++ језгру симулатора. Додавање нових компонента симулатору (нпр. нова или модификована верзија неког протокола, нови алгоритам за управљање редовима и др.) врши се допуном изворног C++ кода, а затим компилацијом и линковањем са постојећим библиотекама.

Основне мрежне компоненте симулатора су чвор, линк и пакет. Функције чвора су обрада пакета на основу одговарајућих заглавља (адреса одредишта, адреса извора, тип протокола и др.) и прослеђивање пакета следећем чвору, на основу табеле рутирања и задатог протокола рутирања. У NS2 чвору могу да буду имплементирани различити механизми за управљање редовима (баферима), у зависности од начина имплементације квалитета сервиса. Чворови мреже су међусобно повезани једносмерним или двосмерним линковима, за које се дефинише кашњење услед пропагације и преноса пакета по линку. Линковима се додељују цене – у општем случају, по једна цена за сваки смер комуникације. Такође је могуће симулирати испад линкова у задатим интервалима симулационог времена. NS2 пакет је структура података, која се састоји од скупа заглавља различитих протокола и опционог поља са корисничким подацима.

Симулатор је спрегнут са алатом за анимацију – **NAM** (*Network Animator*), који омогућује визуелно праћење процеса симулације – токова саобраћаја, стања линкова, стања мрежних чворова, стања редова и др.

Коришћење симулатора NS2 започиње програмирањем сценарија симулације у виду скрипта на језику OTcl. OTcl скрипт обухвата следеће основне целине: креирање објекта симулатора и иницијализацију распоређивања догађаја, креирање помоћних (*trace*) фајлова за NAM визуелизацију и чување резултата симулације, креирање чворова и топологије/топографије мреже, креирање извора и одредишта саобраћаја, дефинисање протокол стека, дефинисање тока симулације, дефинисање процедура за покретање и завршетак симулације. Основна структура OTcl скрипта приказана је на слици 2.

Анализа резултата симулације обавља се на основу *trace* фајла који генерише симулатор. Генерисање одговарајућих графичких приказа на бази *trace* фајла може се обављати помоћу неколико слободно доступних алата опште намене, међу којима су познати **Gnuplot** и **Trace Graph** (расположиви за Unix и Windows платформе) и **Xgraph** (расположив за Unix платформе).



Слика 2. Основна структура OTcl скрипта.

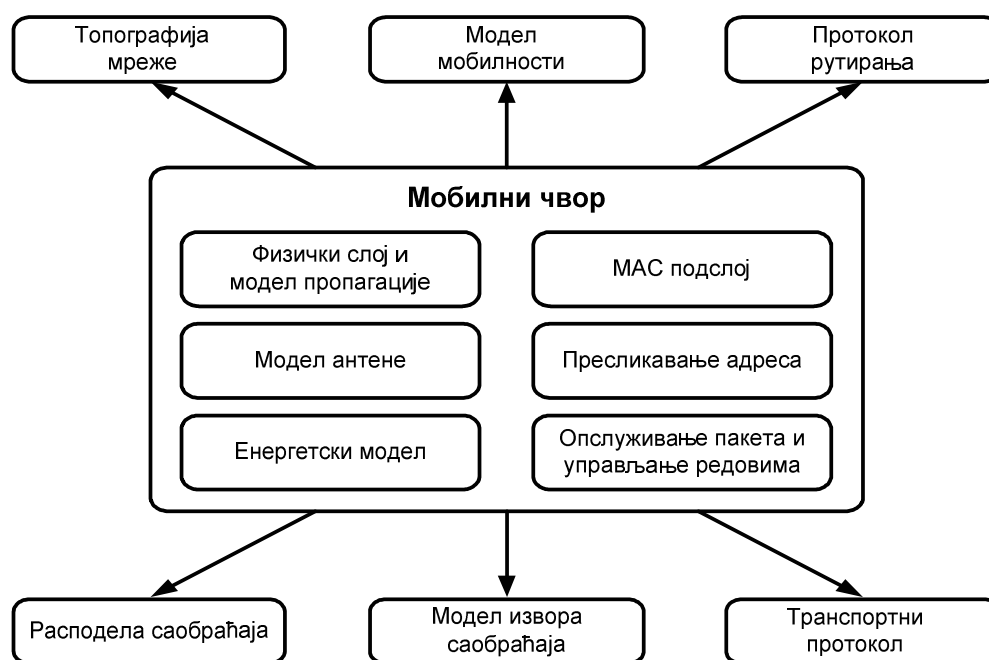
Главна предност слободно доступних симулатора за потребе истраживања у области IP мрежа огледа се у могућности додавања нових или измени постојећих карактеристика (предлог нових алгоритама, модификација протокола и др.). Недостатаци NS2 у односу на комерцијалне симулаторе, као што је OPNET Modeler, су лошији кориснички интерфејси и скромније могућности за визуелизацију симулације. Иако је OTcl релативно једноставан програмски језик, учење и овладавање програмирањем скриптова захтева одређено време, а промена карактеристика језгра симулатора захтева добро познавање језика C++ и принципа објектно-оријентисаног пројектовања. Други проблем је документација – у условима сталног развоја симулатора, ажурност документације за NS2 не прати у потпуности реално стање и могућности симулатора.

Општи симулациони модел MANET

Основни елементи који чине општи симулациони модел MANET мреже су: мобилни чвор, топографија мреже, модел мобилности, протокол рутирања, матрица саобраћаја, модел извора саобраћаја и транспортни протокол (слика 3).

Мобилни чвор је основни елемент MANET мреже. Карактеришу га могућност дводимензионалног кретања и способност да преко дефинисаног канала шаље и прима пакете. Мобилни чвор се дефинише помоћу следећих елемената: физички слој и модел пропагације, модел антене, енергетски модел, MAC протокол, пресликавање адреса, опслуживање пакета и управљање редовима.

Топографија мреже дефинише димензије (дужину и ширину) симулиране области кретања мобилних чворова. Уобичајено је да се област у којој се креира MANET мрежа дефинише правоугаоним обликом.



Слика 3. Општи симулациони модел MANET.

Модел мобилности симулира начин кретања мобилних чворова у мрежи, а обухвата промену брзине, смера кретања, паузе у кретању и др.

Правилно дефинисан симулациони модел мора да имплементира неки од **протокола рутирања** специфичних за MANET мреже.

Расподела саобраћаја изражава се матрицом саобраћаја која дефинише извор и одредиште сваког тока саобраћаја који се преноси кроз мрежу, при чему матрица саобраћаја не дефинише путање токова од извора до одредишта, већ је то задатак протокола и алгоритама рутирања имплементираних у мобилним чворовима.

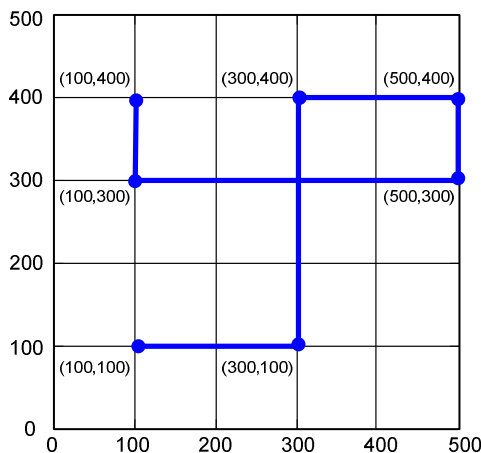
Правилно дефинисње **извора саобраћаја** је важан аспект симулационог модела, јер се помоћу извора симулирају профили улазног саобраћаја у смислу захтеваног пропусног опсега и природе саобраћаја.

Укупне перформансе мреже значајно зависе од примењених **транспортних протокола**, због чега симулационим моделима извора и одредишта треба да буду придружене компоненте које моделују релевантне информације о одговарајућим транспортним протоколима (TCP, UDP, RTP).

Модел мобилности *Manhattan Grid*

Manhattan Grid (MG) је најкарактеристичнији модел из групе CS модела мобилности. Оригинално га је развио Максимчук (Maxemchuk), 1985. године, за потребе симулације мреже улица на Менхетну, при чему је та мрежа представљена хоризонталним и вертикалним линијама раздвојеним блоковима зграда. Подразумева се да сваки чвор започиње кретање из случајно одабране позиције у некој од улица које припадају симулираној области. Кретање из тренутне позиције ка некој новој

позицији одвија се по временски најкраћој могућој путањи (слика 4). Након што чвор стигне у неку позицију, прави извесну паузу, а затим наставља кретање у следећем случајно изабраном правцу и случајно изабраном брзином.



Слика 4. Модел мобилности *Manhattan Grid*.

С обзиром на то да је врло рестриктиван по питању могућих путања чворова у симулационој равни, овај модел верно описује кретање у градској средини. Чворови могу да се крећу само по унапред дефинисаним путањама, најчешће у форми укрштених вертикалних и хоризонталних линија. Модел се описује средњом брзином кретања, минималном брзином кретања (са дефинисаном стандардном девијацијом брзине), подешеном вредношћу вероватне промене брзине у тренуцима ажурирања података, као и вероватноћом промене правца и смера кретања чворова на раскрсницама мреже. Брзина кретања мобилних чворова зависи од брзине кретања у претходном интервалу времена и ограничена је тренутном брзином чвора који се испред њега креће датом путањом.

Генератори мобилности

Генерисање модела мобилности у окружењу симулатора подразумева да се у потпуности дефинишу сви параметри карактеристични за одговарајуће симулирано окружење и примену симулиране мреже. У овом решењу примењен је приступ заснован на коришћењу софтвера *BonnMotion* и SUMO и њиховој интеграцији са симулатором NS2.

BonnMotion

BonnMotion је програм развијен на програмском језику Java, у оквиру групе *Communication Systems* Универзитета у Бону. Компатибилан је са симулаторима NS2 и GloMoSim/QualNet тако да се генерисани сценарији мобилности могу интегрисати у симулације ова два симулатора. Подржава генерисање следећих модела мобилности: RW (*Random Waypoint*), GM (*Gauss Markov*), MG (*Manhattan Grid*), RPGM (*Reference Point Group Mobility*) и статички. Софтвер је слободно доступан и омогућује креирање адекватног симулационог окружења у складу са корисничким спецификацијама. С обзиром да је заснован на програмском језику Java, да би могао

да се користи, неопходна је инсталација JDK (*Java Development Kit*) или JRE (*Java Runtime Environment*). Подржане су инсталације на платформама UNIX и Windows.

У оквиру *BonnMotion* пакета се налази неколико апликација. Осим апликације за генерисање модела мобилности, укључене су апликације које омогућују статистичку обраду података и анализу карактеристика сценарија. Софтвер има интегрисан **help** фајл који се покреће из терминала. За покретање сваке од апликација користи се специфична команда:

```
./bm <parameters> <application> <application parameters>
```

Постоје два начина уноса података везаних за модел мобилности. Параметри се могу унети кроз командну линију или помоћу генерисаног фајла у којем ће бити дефинисани параметри и њихове вредности. Ове две методе се у случају потребе могу комбиновати јер параметри унешени преко командне линије имају предност у односу на оне унете преко генерисаног фајла и могу их поништити.

Скриптови *BonnMotion* софтвера се покрећу у терминалу. На основу команде се задају карактеристике жељеног модела мобилности. Пример основне команде је дат у наставку:

```
./bm -f <sc_name> <model> -n <num> -d <dur> -i <incph> -x <x> -y <y>
```

Овом командом ће генератор креирати нови сценарио под именом **sc_name**, дефинисан моделом мобилности **model**, и бројем чворова дефинисаним у променљивој **num**. Трајање симулације се дефинише вредношћу променљиве **dur** изражено у секундама, док се иницијална фаза која се одбацује дефинише кроз променљиву **incph** и такође је изражена у секундама. Област симулације се дефинише кроз параметре **x** и **y** који су изражени у метрима.

Да бисмо генерисани фајл за неки сценарио мобилности могли да применимо у NS2 мрежном симулатору, неопходно је обавити конверзије у одговарајући формат. Команда:

```
./bm NSFile -f <sc_name>
```

ће генерисати фајл **sc_name.ns_movements** који је скрипт верзија погодна за примену у NS2 окружењу. Овај скрипт се уводи у главни OTcl симулациони скрипт.

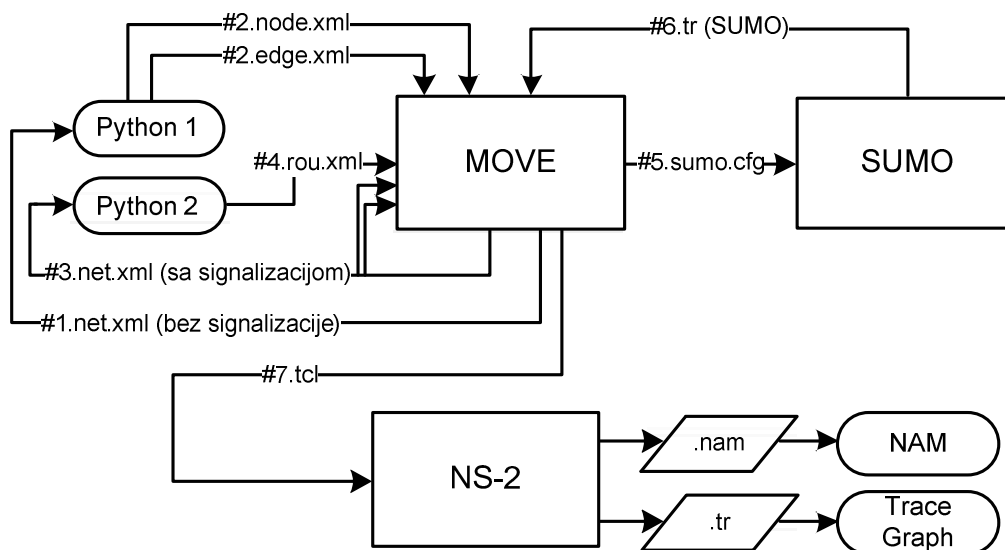
SUMO – Simulation of Urban MObility

Симулатор урбане мобилности, SUMO, је *open source* симулатор кретања друмског саобраћаја. Омогућује корисницима креирање специфичних топологија путева, при чему постоји могућност да се топологије увезу из готових мапа реалних топологија градова. Поред тога, SUMO подржава микроскопски симулациони модел, који подразумева увођење ограничења брзине, дефинисање броја саобраћајних трака, раскрсница и увођење семафорске сигнализације. Могуће је дефинисати специфичне карактеристике појединих возила (дужина, максимална брзина и сл.), могу им се доделити предефинисане или случајне руте, а постоји и могућност дефинисања система јавног превоза.

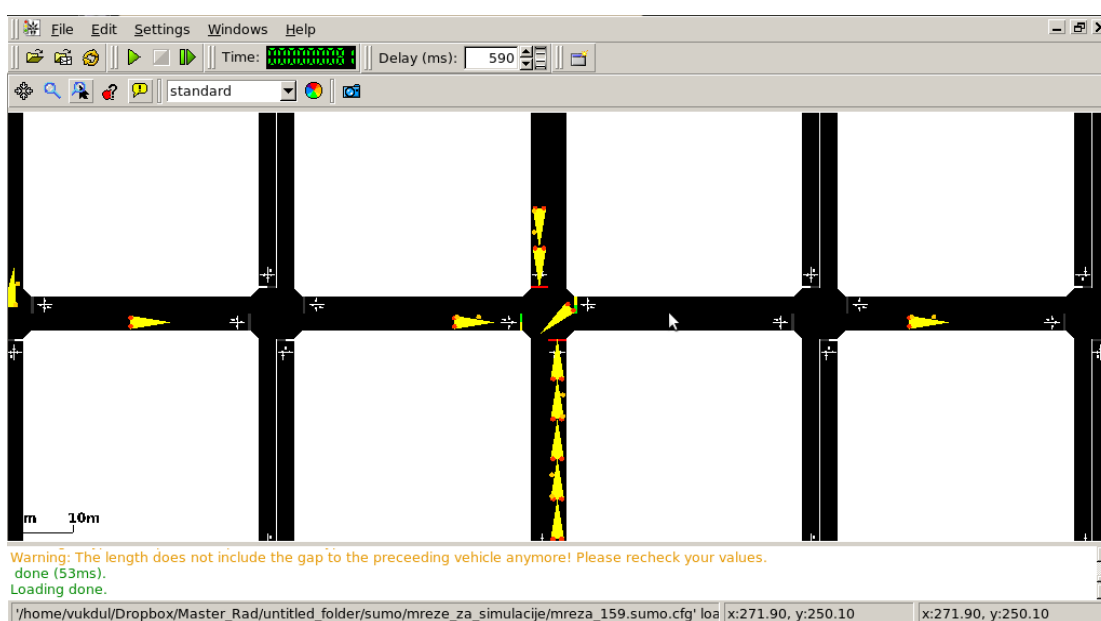
Сви кориснички уноси су у XML формату, а излазни фајл је SUMO *trace* фајл, који садржи све информације о кретању чворова по дефинисаним рутама. Процес генерисања сценарија мобилности помоћу симулатора SUMO доста је сложенији у

односу на VonnMotion. Сценарио се генерише у две фазе: (1) генерисање SUMO *trace* фајла, и (2) генерисање сценарија мобилности на основу SUMO *trace* фајла коришћењем апликације MOVE (*MOBility model generator for VEhicular networks*). Основна намена MOVE апликације је да оствари интеграцију SUMO у окружење NS2. Симулационо окружење се састоји из два дела: топологија рута и возила која ће се по њој кретати.

Топологија рута је дефинисана XML фајлом `.net.xml`, док су возила и њихово кретање дефинисани `.rou.xml` фајлом. SUMO користи *Python* скриптове за генерисање `.xml` фајлова којима се дефинише топологија мреже и кретање возила (слика 5).



Слика 5. Процес генерисања мобилности (SUMO/MOVE).



Слика 6. Пример раскрснице са светлосном сигнализацијом (SUMO).

Међутим, утврђено је да у примени SUMO генератора постоје извесни проблеми. У неким случајевима се догађа да се чворови исувише дуго задржавају у раскрсници, доводећи до саобраћајног загушења у делу топологије мреже. Наиме, како би се добило на брзини извршавања симулације, у SUMO је уведена логика која дефинише да је раскрсница та која одлучује ко има првенство пролаза. Овај проблем долази до изражаја посебно у случају симулација где је број чворова велики (100 и више чворова). Други проблем представља опасност од сударања чворова, без обзира на то што је у оквиру SUMO имплементиран тзв. *collision free vehicle movement* модел. При извршавању симулације, SUMO даје упозорења и информације о детаљима везаним за такве догађаје (где је и како дошло до судара), а колизија се решава тако што се возила која су учествовала у њој пребацују на случајне локације у топологији мреже. Осим тога, може се појавити проблем везан за трајање сигнализационих фаза семафора у топологији. Пример раскрснице са светлосном сигнализацијом приказан је на слици 6.

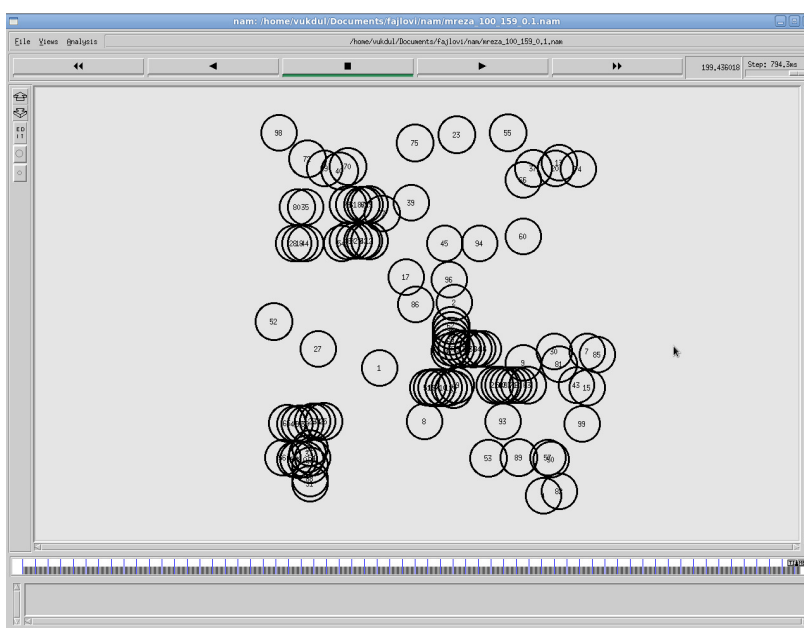
Пример коришћења софтвера

База развијених OTcl скриптова смешта се у директоријум у коме се налази апликација NS2 (извршни фајл **ns.exe**). Извршавање OTcl скрипта односно покретање NS2 симулатора врши се из програма "Tcl shell" следећом командом:

```
> ns <naziv_skripta.tcl>
```

По завршетку симулације, аниматор NAM се покреће аутоматски, под условом да је OTcl скрипт одговарајуће програмиран. Када је симулација једном извршена, покретање аниматора могуће је следећом командом:

```
> nam <naziv_nam_fajla.nam>
```



Слика 7. Проблем "гомилања" чворова у раскрсници (NAM екран).

Изглед NAM корисничког интерфејса који илуструје проблем "гомилања" чворова на раскрсници приказан је на слици 7.

У табели 2 су представљене хардверска конфигурација, конфигурација оперативног система и верзије примењених алата за потребе симулације.

Табела 2. Конфигурација hw/sw ресурса

Процесор	Intel Pentium, Dual CPU, 2GHz
RAM	1GB
OS, OS kernel	Linux, Fedora 13, ker 2.633.3
Симулатор	NS2v2.34
BonnMotion	BonnMotion 1.5a
SUMO	SUMO 0.13.0
SUMO/NS-2 intf.	MOVE 2.81
Аниматор	NAM 1.14
Анализа симулације	Trace Graph 2.02

Коришћење развијеног софтвера биће представљено на примеру анализе перформанси MANET у којој је примењен AODV (*Ad hoc On demand Distance Vector*) протокол рутирања. Испитивани сценарији симулације подразумевају рад са 20 и 100 чворова и параметрима дефинисаним у табели 3. Параметри MG модела представљени су у табели 4. Претпостављено је по 5 извора и одредишта CBR саобраћаја, који су равномерно дистрибуирани у MANET мрежи.

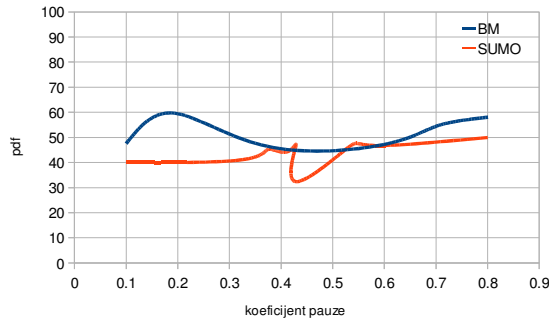
Табела 3. Вредности параметара симулације

Трајање симулације	200 s
Протокол рутирања	AODV
Мрежни интерфејс	Phy/WirelessPhy
Домет чвора	250m
CBR/UDP	512Byte; int-time 0.05s
Максимални број пакета у реду	100
MAC протокол	MAC/802.11
Антенa	Омнидирекциона антена
Димензије симулиране равни	500m x 500m

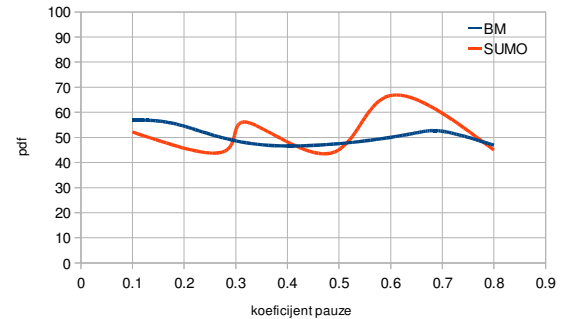
Табела 4. Параметри *Manhattan Grid* модела

X, Y блокови = 10, 10
Интервал пређеног пута при ажурирању = 5.0 m
Вероватноћа скретања = 0.5
Вероватноћа промене брзине = 0.2
Брзина = 15 m/s
Трајање паузе = 0.02s, 2s, 20s
Вероватноћа генерисања паузе = 0.2, 0.5, 0.8

На сликама 8–10 приказане су вредности три мере перформанси – процента испоручених пакета (*pdf*), просечног кашњења од једног до другог краја мреже, као и односа броја контролних пакета и укупног броја информационих пакета (RPO), у функцији коефицијента паузе K .

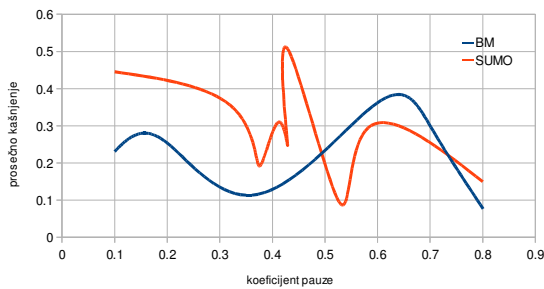


(а) 100 чворова

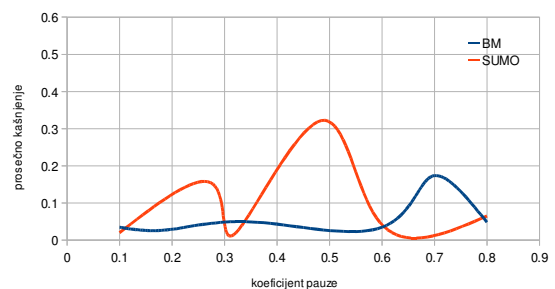


(б) 20 чворова

Слика 8. Процент испоручених пакета у зависности од коефицијента паузе.

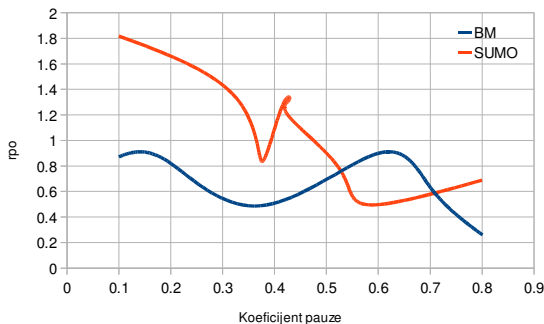


(а) 100 чворова

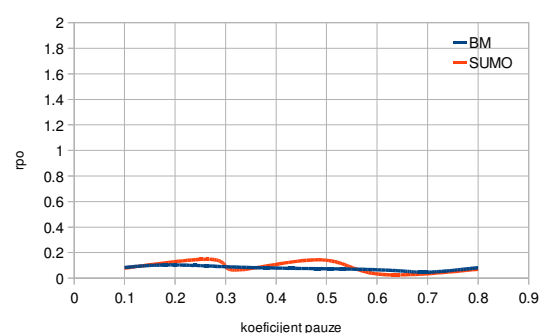


(б) 20 чворова

Слика 9. Просечно кашњење у зависности од коефицијента паузе.



(а) 100 чворова



(б) 20 чворова

Слика 10. RPO у зависности од коефицијента паузе.

Паузе у кретању чворова дефинишу се на различите начине, у зависности од генератора мобилности. Коефицијент паузе K представља нормализовану средњу вредност паузе у односу на све чворове у току трајања симулације:

$$K = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{T_S * N_S}, \quad (1)$$

где је p_n укупно трајање паузе n -тог чвора за време симулације, N_S – укупан број чворова у симулацији, а T_S – трајање симулације. За потребе израчунавања коефицијента паузе програмирани су посебни *Python* скриптови, који пролазе кроз део кода OTcl скрипта који се односи на кретање чвора.

Могућности примене

Развијени софтвер је отвореног типа, а погодан је за примену у научно-истраживачке и едукативне сврхе. Предлог приступа генерисању сценарија мобилности заснива се на коришћењу *open source* софтвера BonnMotion или SUMO. На тај начин су ефикасно комбиновани постојећи *open source* алати са развојем сопствених програма за симулацију. Избором одговарајућег OTcl скрипта и подешавањем потребних параметара симулације могуће је извршити низ анализа за различите MANET протоколе рутирања, мреже са различитим бројем чворова и различите брзине кретања чворова. Постојећи скуп OTcl скриптова се перманентно надограђује, сагласно дефинисаним темама и оствареним резултатима истраживања.

Публикације

- [1] В. Тимченко, В. Дуловић, "Моделовање мобилности у урбаном окружењу", *Зборник радова ТЕЛФОР 2011*, Београд, новембар 2011, str. 206-209. ISBN: 978-1-4577-1498-6.
- [2] В. Дуловић, "Анализа перформанси AODV протокола у мобилним ad hoc мрежама у урбаној средини", мастер рад, Електротехнички факултет, Београд, децембар 2011.
- [3] М. Stojanović, V. Timčenko, V. Acimović-Raspopović, "The Impact of Mobility Patterns on MANET Vulnerability to DDoS Attacks," *Electronics and Electrical Engineering* (to be published in April 2012). ISSN: 1392 – 1215.

Софтвер за анализу перформанси MANET у урбаном окружењу заснован на мрежном симулатору NS2 је развијен у Институту Михајло Пупин у оквиру текућег пројекта бр. TP-32025 код Министарства просвете и науке.

Штампано: јануар 2012.